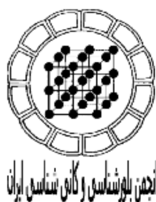
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی‌ام، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۱، از صفحهٔ ۲۶۷ تا ۲۸۰



بررسی‌های زمین‌شیمی اکتشافی کانی‌های سنگین رسوب‌های آبراهه‌ای و سنگی منطقه اسبخان هریس، شمال غرب ایران

نیما یادگاری*، سید غفور علوی، محسن موید

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۴/۱۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۸/۴)

چکیده: منطقه مورد بررسی در جنوب رشته کوه قوشآداغ، در شمال روستای اسبخان، شهرستان هریس واقع است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی ساختاری ایران، در پهنه اصلی ایران مرکزی و زیرپهنه البرز - آذربایجان قرار دارد. واحدهای زمین‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های آذرین و آذرآواری ائوسن با ترکیب آندزیتی، تراکی‌آندزیتی، بازالتی، توفی و ایگنمبریتی هستند. توده نفوذی نیمه عمیق با سن الیگوسن، با ترکیب کوارتز دیوریت، دیوریت و کوارتز مونزونیت به صورت استوک و دایک در منطقه رخنمون دارد. در اثر فرایندهای گرمابی شکل گرفته از این توده نفوذی و با نفوذ آن در واحدهای رسوبی- آتشفشانی ائوسن میانی، دگرسانی‌های گسترده‌ای (فیلی، رسی آرژیلی متوسط، پروپلیتی و سیلیسی) در منطقه رخ داده است. نتایج اولیه بررسی‌های زمین‌شیمیایی آبراهه‌ای در منطقه سبب شناسایی چند ناحیه با بی‌هنجاری‌های درجه ۱، ۲ و ۳ از کانی‌های سنگین شد. مهم‌ترین کانی‌های سنگین شناسایی شده شامل هماتیت، گوتیت، مگنتیت، پیریت-اکسید، پیریت و زیرکن هستند و اغلب ارتباط تنگاتنگی با پهنه‌های دگرسانی و کانی‌سازی رگه‌ای دارند. انطباق نقشه هاله‌های زمین‌شیمیایی با نقشه زمین‌ساخت و دگرسانی منطقه نشان‌دهنده همبستگی بسیار بالای این مناطق و به احتمال بسیار نقش مهم گسل‌ها و درزه‌ها در رخداد پهنه‌های دگرسانی و مناطق بی‌هنجار است. نقشه‌های بی‌هنجاری و تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری یافته‌های رسوب های رودخانه‌ای و کانی‌های سنگین نشان می‌دهد که غنی‌شدگی عناصر Ag، Au، Mo، Cu، As، Pb، Sb و Zn از حد زمینه بالاتر است و عناصر Au، Ag، Cu، As و Pb می‌توانند به عنوان عناصر ردیاب برای ذخایر فراگرمایی طلا بکار روند.

واژه‌های کلیدی: *زمین‌شیمی؛ رسوب‌های آبراهه‌ای؛ بی‌هنجاری؛ کانی‌های سنگین؛ اسبخان.*

مقدمه

کمربند فلززایی ارسباران در شمال‌غربی ایران واقع بوده و شامل مناطقی از جمله اهر، کلیبر، ورزقان، سیه‌رود و بخش‌هایی از شمال و غرب مشکین شهر است. برخی زمین‌شناسان این کمربند را ادامه قفقاز کوچک در نظر می‌گیرند که با روند شمال‌غرب–جنوب‌شرق وارد ایران می‌شود [۱]. عده‌ای آن را بخشی از پهنه ارومیه- دختر در می دانند [۲] و عده‌ای دیگر آن را یک کمربند ماگمایی مجزا از البرز تا شمال‌شرق ترکیه در نظر می‌گیرند [۳-۵]. این کمربند دارای برون‌زدهای گسترده‌ای از رسوب‌های فلیشی پالئوسن و سنگ‌های آذرین آتشفشانی و درونی ائوسن تا میوسن است. فعالیت ماگمایی سنوزوییک که از ائوسن آغاز می‌شود بیشتر آتشفشانی است که اغلب ماهیت اسیدی و حد واسط دارند. از ائوسن پسین تا میوسن، فعالیت آذرین بیشتر به شکل توده‌های نفوذی بروز کرده که با کانی‌سازی و دگرسانی گسترده‌ای همراه است [۶]. بخش‌های گسترده ای از سنگ‌های ماگمایی به ویژه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری آن دگرسان شده‌اند [۷]. توالی سنگ‌های بررسی شده دراین پهنه شامل دو دوره اصلی الیگوسن پسین– میوسن

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۸۴۱۹۰۵۰، پست الکترونیکی: Nima.yadegari7@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]

پیشین است [۸]. در این کمربند، کانه‌زایی‌هایی از جمله مس، مولیبدن، طلا، آهن، سرب، روی، آرسنیک، آنتیموان و جیوه به صورت ذخایر پورفیری، اسکارنی و رگه‌ای قابل پی‌جویی است [۹، ۱۰].

از بررسی‌های اخیر بر ذخایر این پهنه می‌توان به پژوهش پیرامون ذخایر پورفیری مس- مولیبدن سونگون [۱۱]، مس- مولیبدن هفت چشمه [۱۲، ۱۳] و برخی از ذخایر فراگرمایی چون زایلیک- صفیخانلو [۱۴]، شرف آباد و مسجد داغی [۱۵] اشاره کرد. از بررسی‌های انجام شده پیرامون منطقه اسبخان می‌توان از پژوهش حسین‌زاده (۱۳۸۷) با عنوان "مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، کانی‌سازی، دگرسانی و ژنز کانسار مس پورفیری سوناجیل– شرق هریس (استان آذربایجان شرقی)" در قالب رساله دکتری [۱۶] و کار مصحقی (۱۳۸۰) با عنوان "مطالعاتی در رابطه با ژنز ذخایر آرسنیک در منطقه ولیلو" در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد نام برد [۱۷]. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی مناطق پتانسیل‌دار از دید کانی‌سازی فلزات پایه و گران‌بها و ترکیب نقشه بی‌هنجاری برآمده از بررسی‌های زمین‌شیمیایی اکتشافی طلا و عناصر وابسته آن با نقشه زمین‌شناسی و ساختاری منطقه برای تشخیص الگوی پراکندگی مناطق پتانسیل‌دار طلا و عناصر همبرزاد آن بود. برای شناسایی گستره‌های پتانسیل‌دار از دید کانی‌سازی فلزهای پایه و گران‌بها در منطقه از یافته‌های مربوط به تجزیه رسوب های آبراهه‌ای استفاده شد.

روش پژوهش

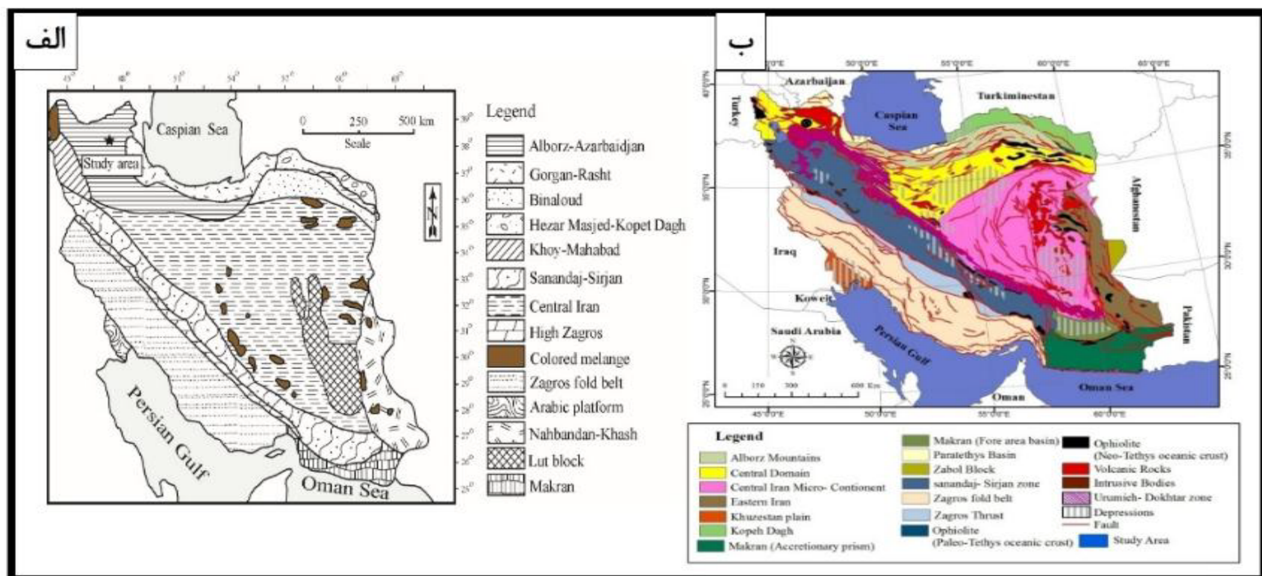
برای طراحی شبکه نمونه‌برداری برپایه تجربه‌های پیشین [۱۸-۲۰] برای موارد مشابه، نخست طرح کلی آبراهه‌های منطقه با استفاده از نقشه مکان‌نگاری ۱:۵۰۰۰۰ اسبخان و تصاویر ماهواره‌ای منطقه رسم شد، سپس با توجه به زهکشی و پراکندگی آبراهه‌های منطقه، طراحی نمونه‌برداری به روش آبراهه‌ای انجام و با سامانه موقعیت یاب مکانی (GPS) موقعیت آن‌ها یادداشت شد. در برداشت نمونه‌ها، افزون بر توجه به میزان توسعه یافتگی آبراهه‌ها، وضعیت سنگ‌شناسی، دگرسانی‌ها و پتانسیل کانی‌سازی در واحدها و همچنین وضعیت همبری‌های زمین‌شناسی و گسل‌ها، سعی شد تا همراه با پراکندگی مناسب، به محل‌های از دید زمین‌شناسی و زمین‌ساختی مهم‌تر، وزن بیشتری داده شود. در نمونه‌برداری سعی شد تا از برداشت مواد آلی و محل‌های با امکان آلودگی اجتناب شده و فقط از مرکز ثقل بخش‌های بالادست آبراهه که از آلودگی دور است، نمونه‌برداری شد [۲۱، ۲۲]. نمونه‌ها تا حد امکان از ژرفای ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری مرکز آبراهه‌ها و در محل مناسب از نظر اندازه ذرات (لای و رس) با استفاده از الک ۸۰-مش برداشت شدند. با این ترتیب، ۵۱۲ نمونه برداشت و برای تجزیه شیمیایی عناصر به آزمایشگاه زرآزما ارسال شدند. برای تعیین مقدار Au از روش عیارسنجی گرمایی و برای اندازه‌گیری مقادیر بقیه عناصر از طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) استفاده شد.

یافته‌های به دست آمده از رسوب‌های آبراهه‌ای و سنگ‌ها صرف نظر از مؤلفه آلودگی شیمیایی و تغییرپذیری از حالت عادی، دارای دو مؤلفه همزاد وابسته به زایش سنگ) و روزاد (وابسته به کانی‌سازی احتمالی) هستند. برای یافته‌های عیاری فلزهای گران‌بها و عناصر اقماری آنها با نرم افزارهای Data Mine، Spss، Arc Map، Surfer و اتوکد بررسی شد. سرانجام، با توجه به همه موارد، با پردازش داده‌های زمین‌شیمی و ترکیب آن با نتایج کانی‌های سنگین، مناطق امیدبخش، شناسایی، اولویت‌بندی و برای کنترل بی‌هنجاری پیشنهاد شدند.

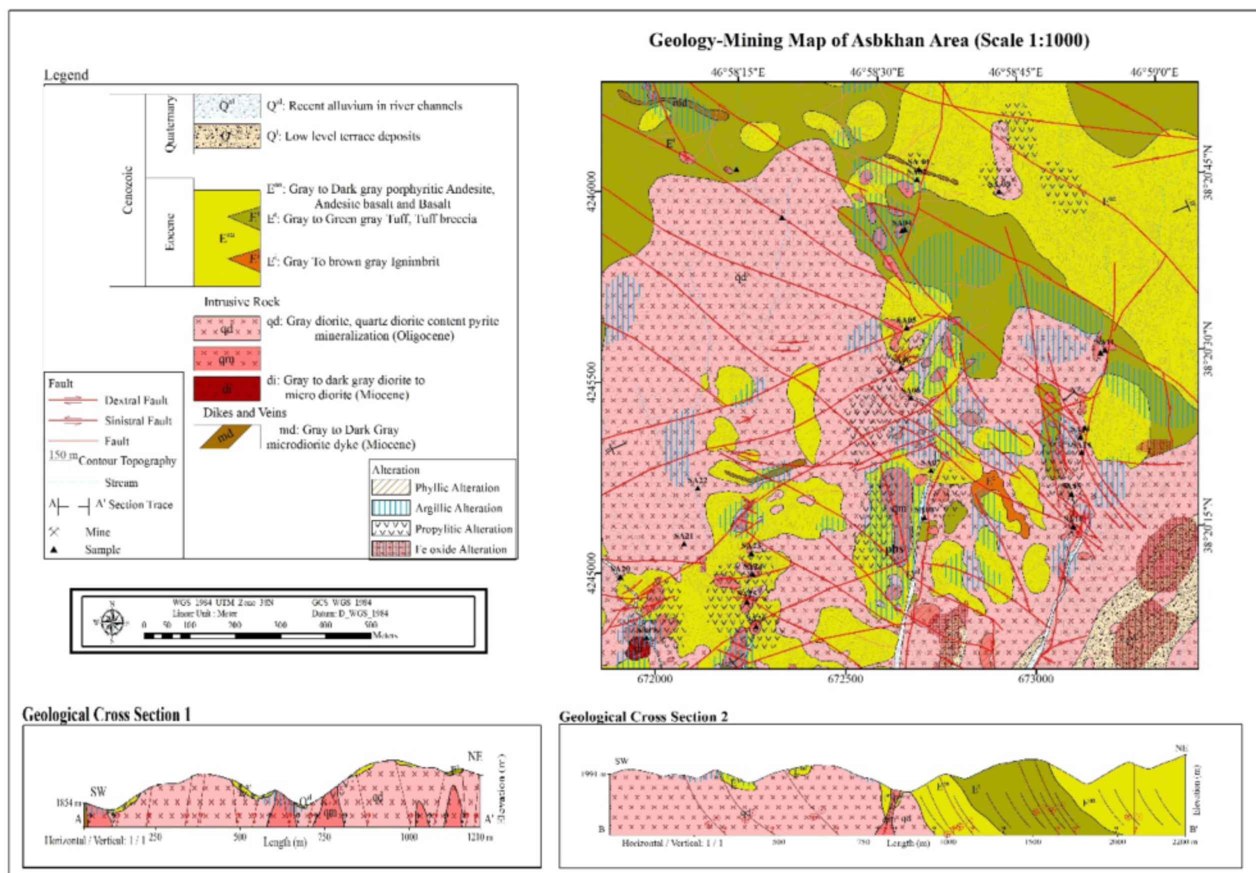
زمین‌شناسی

منطقه اسبخان به مختصات جغرافیایی ″۱۵ ′۵۷ °۴۶ تا ″۲۳ ′۵۹ °۴۶ طول شرقی و ″۱۵ ′۱۹ °۳۸ تا ″۴۸ ′۲۱ °۳۸ عرض شمالی، در ۲۵ کیلومتری شمال‌غرب شهر هریس در استان آذربایجان شرقی، شمال‌غرب ایران واقع است. این منطقه از دید نبوی [۲۳]، از پهنه البرز– آذربایجان (شکل ۱ الف) و از نظر تقسیم‌بندی ساختاری– زمین ساختی ایران [۲۴]، بخشی از پهنه ایران مرکزی است (شکل ۱ ب). قدیمی‌ترین رخنمون تشکیلات سنگی منطقه اسبخان مربوط به سنگ‌های آهکی ائوسن است که با رخنمون‌های سنگی چون آندزیت، تراکی‌آندزیت، بازالت، توف و ایگنمبریت ائوسن همراهی می‌شوند. واحدهای سنگی الیگوسن در منطقه اسبخان شامل

سنگ‌های آذرین درونی با ترکیب سنگ‌شناسی کوارتزدیوریت، کوارتزمونزونیت پورفیری و دیوریت هستند که با مارن‌ها، ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای الیگومیسن پوشیده شده‌اند (شکل۲).



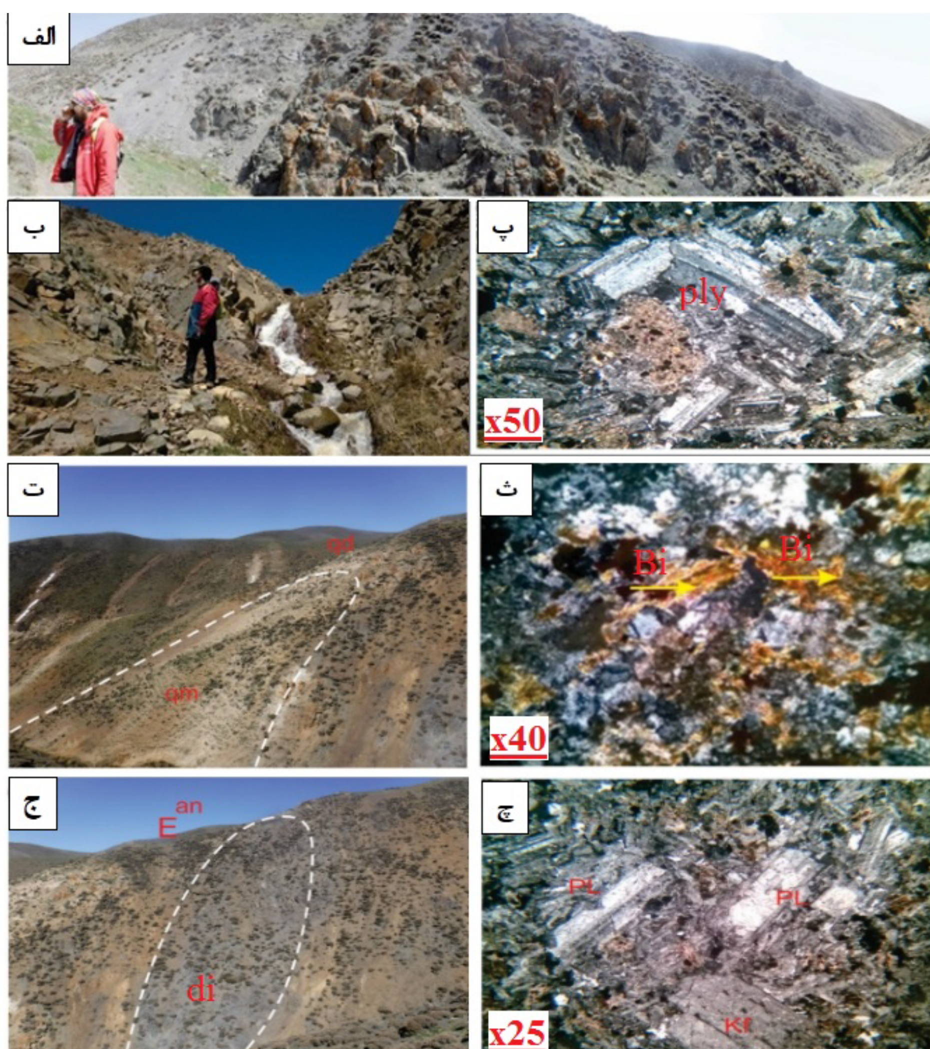
شکل ۱ (الف) تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری-رسوبی ایران [۲۳]، (ب) پهنه‌های رسوبی – ساختاری ایران [۲۴].



شکل ۲ نقشه زمین شناسی منطقه اسبخان در مقیاس ۱:۱۰۰۰ برگرفته از مراجع [۲۵، ۲۶] با تغییرات.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]

از برجسته‌ترین سیماهای زمین‌شناسی اقتصادی منطقه اسبخان می‌توان به نفوذ توده‌های آذرین درونی کوارتزدیوریت، کوارتزمونزونیت پورفیری و دیوریت الیگوسن به درون تشکیلات آندزیتی، تراکی‌آندزیتی، بازالتی، توفی و ایگنمبریتی ائوسن و گسترش یک سامانه دگرسانی گسترده اشاره کرد. سامانه دگرسانی یاد شده از پهنه‌های دگرسانی آرژیلی رسی، فیلی، پروپیلیتی و سیلیسی تشکیل شده است. توده کوارتزدیوریت با گسترش بیشتر در بخش‌های مرکزی، شمالی و جنوبی منطقه اکتشافی رخنمون دارد که به صورت ژرف سنگ واحدهای آتشفشانی و آندزیتی– بازالتی را قطع کرده است (شکل‌های ۳ الف و ب). از نظر ریخت‌شناسی، این واحد سنگی ارتفاع‌های متوسط تا خشن منطقه را تشکیل می‌دهد (شکل ۳ ب). رنگ این مجموعه در بازدیدهای صحرایی و نمونه دستی، خاکستری متوسط و خاکستری روشن تا سفید است. بر اساس بررسی های میکروسکوپی، کانی‌های اصلی آن شامل کوارتز، ارتوز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند با بافت پورفیری هستند (شکل ۳ پ). توده کوارتزمونزونیت پورفیری با گسترش کمتر نسبت به توده کوارتز دیوریتی در لبه این توده به صورت پیکره‌هایی با اندازه‌های متفاوت رخنمون دارد. این واحد دارای ریخت‌شناسی ملایم است. در پیمایش‌ها و بررسی‌های صحرایی، دگرسانی‌های فیلی و رسی آرژیلی در این واحد دیده می‌شوند (شکل ۳ ت).



شکل ۳ الف) نمای دور از واحد کوارتز-دیوریتی با دید به سمت شرق، ب) نمای نزدیک از واحد کوارتز- دیوریتی، پ) مجموعه‌ای از درشت بلورهای دانه درشت تا متوسط پلاژیوکلاز و ارتوز (در نور قطبیده متقاطع XPL)، ت) نمایی از مرز واحد کوارتز- مونزونیت پورفیری با توده کوارتز- دیوریت، ث) تصویری از تشکیل بیوتیت ثانویه در توده کوارتز- مونزونیت پورفیری (در نور XPL)، ج) نمایی از توده دیوریتی تا میکرودیوریتی که به شکل دایک در توالی ائوسن نفوذ کرده است، چ) تصویری از بافت دانه‌ای به همراه پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی موجود در توده دیوریتی (در نور XPL).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]

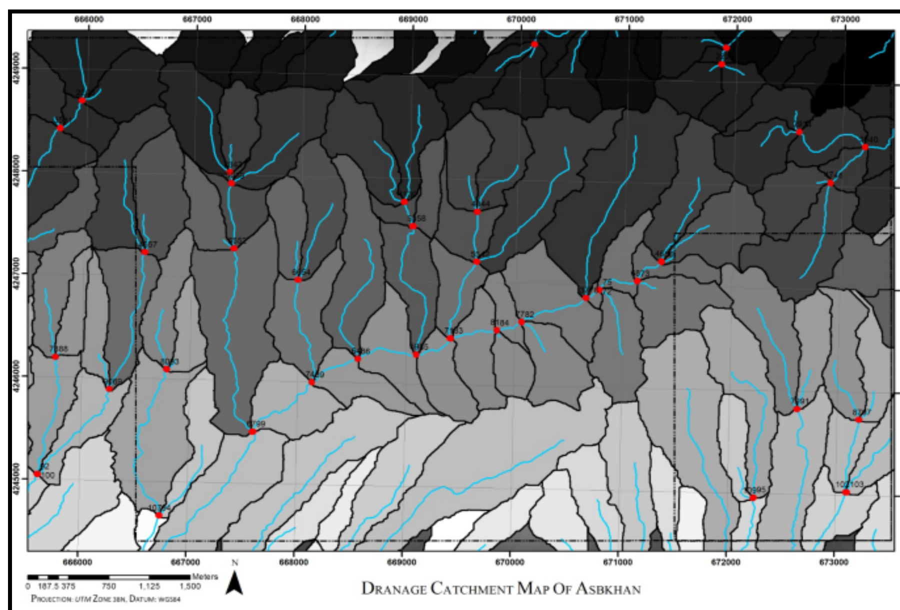
کانی‌شناسی اصلی این توده شامل بلورهای نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز و کمی فلدسپار پتاسیم است که در خمیره ریزبلوری از کوارتز و فلدسپار پتاسیم قرار دارند. کانی‌های فرومنیزین این توده (به احتمال بسیار آمفیبول و بیوتیت) کاملا با فراورده‌های دگرسانی چون کلریت، کلسیت، اپیدوت، اکسیدهای آهن، سریسیت و سرانجام بیوتیت‌های ریز و پولکی ثانویه (شکل دروغین) شده‌اند (شکل ۳ ث). واحد سنگی دیوریتی با وسعت کمتر نسبت به دو توده مورد بحث در بخش‌های میانی غرب منطقه به صورت دایک گسترش دارد (شکل ۳ ج). کانی‌های اصلی دیده شده در این توده شامل ارتوز، پلاژیوکلاز و کوارتز با بافت دانه‌ای با زمینه دانه متوسط هستند (شکل ۳ چ).

بررسی های زمین‌شیمیایی

یافته‌های زمین‌شیمی آبراهه‌ای بیشتر در بررسی‌های مقدماتی اکتشافی پیرامون حوضه‌های آبریز در شرایط آب و هوایی مختلف به ویژه با بارندگی متوسط استفاده می‌شود. در این نوع بررسی، هر نمونه می‌تواند نماینده‌ای از مواد حوضه بالادست خود باشد. امتیاز روش بررسی رسوب‌های آبراهه‌ای این است که در محیط‌های هوازده، بسیاری از کانی‌ها بویژه انواع سولفیدی ناپایدار هستند و با توجه به تحرک زمین‌شیمیایی بالای خود، این عناصر و عناصر معرف آن‌ها نقش مهمی دارند [۲۷]. اساس این روش‌های بررسی هاله‌های پراکنده ثانویه عناصر در محیط‌های سطحی چون خاک‌ها، آبرفت‌ها و رسوب های رودخانه‌ای که طی هوازدگی برونزاد کانسارها تشکیل می‌شوند، است. این منطقه شامل مواد سنگی سخت‌نشده‌ای است که رخنمون توده‌ای کانساری و حتی گاهی هاله‌های اولیه آن‌ها را دربرگرفته و یا می‌پوشانند.

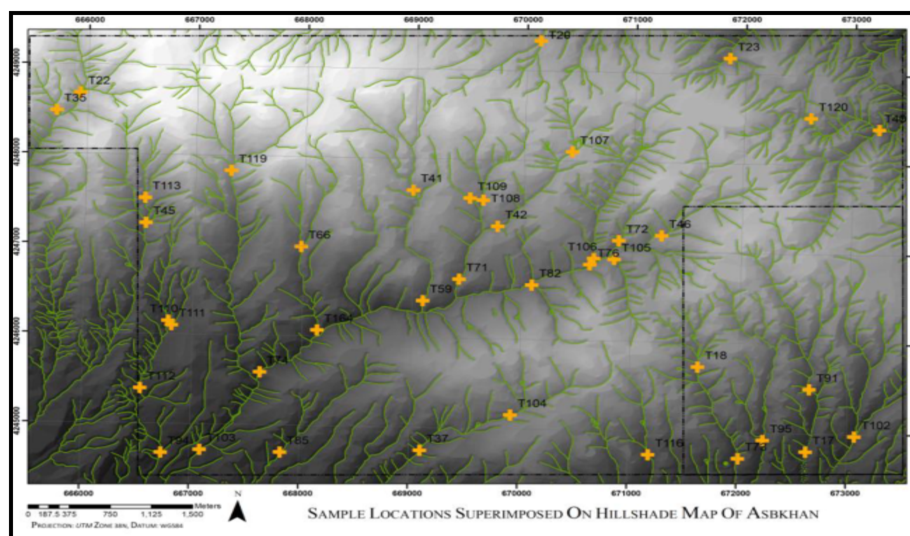
طراحی نمونه برداری، پس از نمونه‌گیری دقیق، شاید مهم‌ترین بخش برنامه اکتشافی باشد. اگر طرح نمونه‌برداری با خطا همراه باشد، خطای ایجاد شده در برنامه غیرقابل بازگشت است. برای طراحی شبکه نمونه‌برداری، نقشه‌های ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه در فضای نرم افزار ArcMap10 رسم شدند. این نرم افزار قابلیت استخراج نقشه‌های شیب و جهت از نقشه ارتفاعی ایجاد شده را دارد. با ترکیب این نقشه‌ها در بخش ArcHydro، نقشه حوزه‌های آبریز (شکل ۴)

شکل به دست می‌آید. از ترکیب این نقشه با آبراهه‌ها می‌توان برای استخراج نقاط بهینه نمونه‌برداری استفاده کرد. به این ترتیب، بهینه ۱۲۹ موقعیت مشخص شد که از این میان، سرانجام ۴۰ موقعیت با توجه به وضعیت آبراهه، اولویت اکتشافی و دسترسی، انتخاب گردید. در شکل ۵ نقشه موقعیت نمونه‌برداری نهایی در منطقه نشان داده شده است.



شکل ۴ نقشه حوضه‌های آبریز منطقه که از ترکیب تصویر ارتفاعی رقومی و نقشه‌های جهت و شیب تهیه شده است. نقاط قرمز رنگ مکان‌های برگزیده برای نمونه برداری آبراهه‌ای را نشان می‌دهند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]



شکل ۵ نقشه موقعیت نمونه برداری آبراهه‌ای در منطقه اسبخان بر تصویر HILLSHADE.

پی‌جویی کانی‌سنگین

کنترل بی‌هنجاری زمین‌شیمیایی با بررسی نمونه‌های کانی سنگین در رسوب های آبراهه‌ای و همچنین نمونه‌های کانی‌سازی شده و دگرسان انجام شد. ۴۰ نمونه کانی سنگین از محل بی‌هنجاری‌های اولیه برداشت و توسط شرکت کانساران بینالود بررسی شد. در این نمونه‌ها، در مجموع ۸۴ کانی متفاوت شناسایی شد که فراوانی برخی از آنها در جدول ۱ آورده شده است. در میان این کانی‌ها، مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، آپاتیت، زیرکن، روتیل، باریت، کلسیت، پیروکسن، اولیژیست، پیریت و پیریت اکسیدی از کانی‌های سنگ ساز به شمار می‌آیند.

تهیه نقشه‌های زمین‌شیمیایی و شناسایی مناطق بی‌هنجار

نقشه‌ها به عنوان فرآورده نهایی، به تصویر کشیده شدن مقادیر عددی داده‌ها و یا به عبارتی رسم نمادین متغیرها را در پی دارند. از این رو، نقشه‌ها با توجه به دربرداشتن همه اطلاعات شامل موقعیت نمونه‌ها، چگونگی توزیع عیاری، وضعیت پستی و بلندی، سامانه آبراهه‌ها، موقعیت جاده‌ها، روستاها و شهرها به عنوان یکی از مهمترین اسناد هر پژوهش محسوب می‌شوند. بنابراین ساده بودن و دقیق بودن نقشه‌ها کمک بسزایی به مفهومی بودن آنها می‌کند. نقشه‌ها نشانگر مناطق با بالاترین پتانسیل اکتشافی هستند که در آن‌ها گروهی از نمونه‌ها بطور مشترک در دسته‌ای از عناصر بی‌هنجار نشان داده شده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده از محاسبات آماری و مرزبندی گستره تمرکز عناصر، تعداد ۸ نقشه با نام نقشه‌های بی‌هنجاری تهیه شد که هر یک بطور جداگانه، تجزیه و تحلیل شدند. برای این منظور از نتایج تجزیه نمونه‌ها (جدول ۲) استفاده شد. همه نقشه‌ها با نرم‌افزارهای SPSS، Surfer و اتوکد تهیه گردیدند. بی‌هنجاری‌های درجه ۱، ۲ و ۳ به ترتیب با رنگ قرمز، زرد و آبی فیروزه‌ای نشان داده شده‌اند.

بی‌هنجاری عنصر نقره: مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین عنصر نقره در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به ترتیب ۰/۲، ۲۹/۳ و ppm ۱/۴۹ هستند. در نقشه تهیه شده، دو گستره بی‌هنجار در جنوب‌شرق منطقه مورد دیده می‌شوند بررسی. در نقشه ۱، یک بی‌هنجاری درجه ۱ و یک بی‌هنجاری درجه ۲ دیده می‌شود. هم‌پوشی این عنصر با بی‌هنجاری‌های درجه ۱ عناصر مس، آنتیموان و باریم قابل توجه است (شکل ۶ الف).

بی‌هنجاری عنصر آرسنیک: مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین این عنصر به ترتیب ۲، ۵۳ و ppm ۱۶/۶۸ هستند. دو بی‌هنجاری درجه ۲ و سه بی‌هنجاری درجه ۳ آرسنیک به صورت پراکنده در بخش‌های مختلف منطقه دیده می‌شود. بی‌هنجاری درجه ۲ یکی در جنوب‌شرق و یکی در جنوب‌غرب منطقه است (شکل ۶ ب).

بی‌هنجاری عنصر آنتیموان: کمترین و بیشترین عیار آنتیموان در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به ترتیب ۰/۹۶ و ppm ۱۸/۳ بوده و عیار میانگین ppm ۱/۹۹ است. بی‌هنجاری‌های این عنصر به صورت یک بی‌هنجاری درجه ۱ و یک بی‌هنجاری درجه ۲ در جنوب‌شرق منطقه دیده می‌شود (شکل ۶ پ).

جدول ۱ مقادیر برخی از کانی‌های سنگین در رسوب های آبراهه‌ای منطقه اسبخان (بر حسب ppm).

نمونه	KH-9	KH-11	KH-14	KH-15	KH-20	KH-24	KH-26	KH-30	KH-32
مگنتیت	۷۰۹	۳۸۶	۱۰۴۹	۹۶۰	۵۶۸۵	۲۳۲	۷۵۷۰	۲۷۲۷	۱۳۹۷
هماتیت	۸۱۴	۹۲۰	۴۰۱۰	۸۰۱	۲۳۷۰	۱۶۶۲	۴۳۷۶	۲۰۸۵	۶۶۱
گوتیت	۹۰	۱۲	۰	۱۱	۳۲	۴۵۹	۸۰۷	۲۸	۱۰۳
لیمونیت	۰	۰٫۳	۰	۰٫۳	۱٫۳	۰	۰	۰٫۸۳	۸٫۵
آپاتیت	۲۷٫۳	۱۳٫۲	۹۶٫۸	۶۰٫۴	۱۳۲٫۵	۰٫۹۶	۶۵٫۲	۳۴٫۹	۶٫۸۳
اپیدوت	۰٫۶	۰٫۳	۱٫۴	۸۵٫۶	۲۵٫۳	۰	۱٫۴	۰	۰
زیرکن	۵۸٫۹	۲۸٫۵	۳۷۱٫۳	۳۸٫۶	۲۶۶٫۷	۱٫۴	۴۶٫۹	۲۵٫۱	۱٫۱
روتیل	۰٫۷۲	۰٫۳۵	۱٫۶۹	۰٫۳۵	۱٫۳۹	۰	۱٫۷۱	۰٫۹۲	۰٫۳۶
باریت	۳۸٫۴	۹٫۳	۴۵٫۴	۰٫۳۸	۷۴٫۵	۳٫۴	۲۲۹٫۴	۱۴۷٫۵	۲۸٫۸
کلسیت	۲۳	۱۱٫۱	۲۷٫۲	۵٫۷	۱۳٫۴	۲	۵٫۵	۱۴٫۷	۱۱٫۵
پیروکسن	۱۶٫۳	۹٫۳	۱٫۳	۰٫۳	۱٫۱	۳۳٫۴	۲۹۳	۰٫۷	۰٫۳
اولیژیست	۰٫۸۵	۰	۲٫۰۲	۰٫۴۲	۳۷٫۳	۰	۴۵٫۹	۱٫۰۹	۰٫۴۳
پیریت	۰٫۸۵	۰٫۴۱	۲٫۰۱	۰٫۴۳	۱٫۶۶	۱٫۴۹	۵٫۱۰	۲٫۷۳	۱۰٫۶۷
پیریت-اکسیدی	۲۵۶	۲۸۹	۲۲۶۹	۵۰۴	۱۱۱۸	۱۰۴۵	۱۸۳۵	۶۵۵	۳۵۲

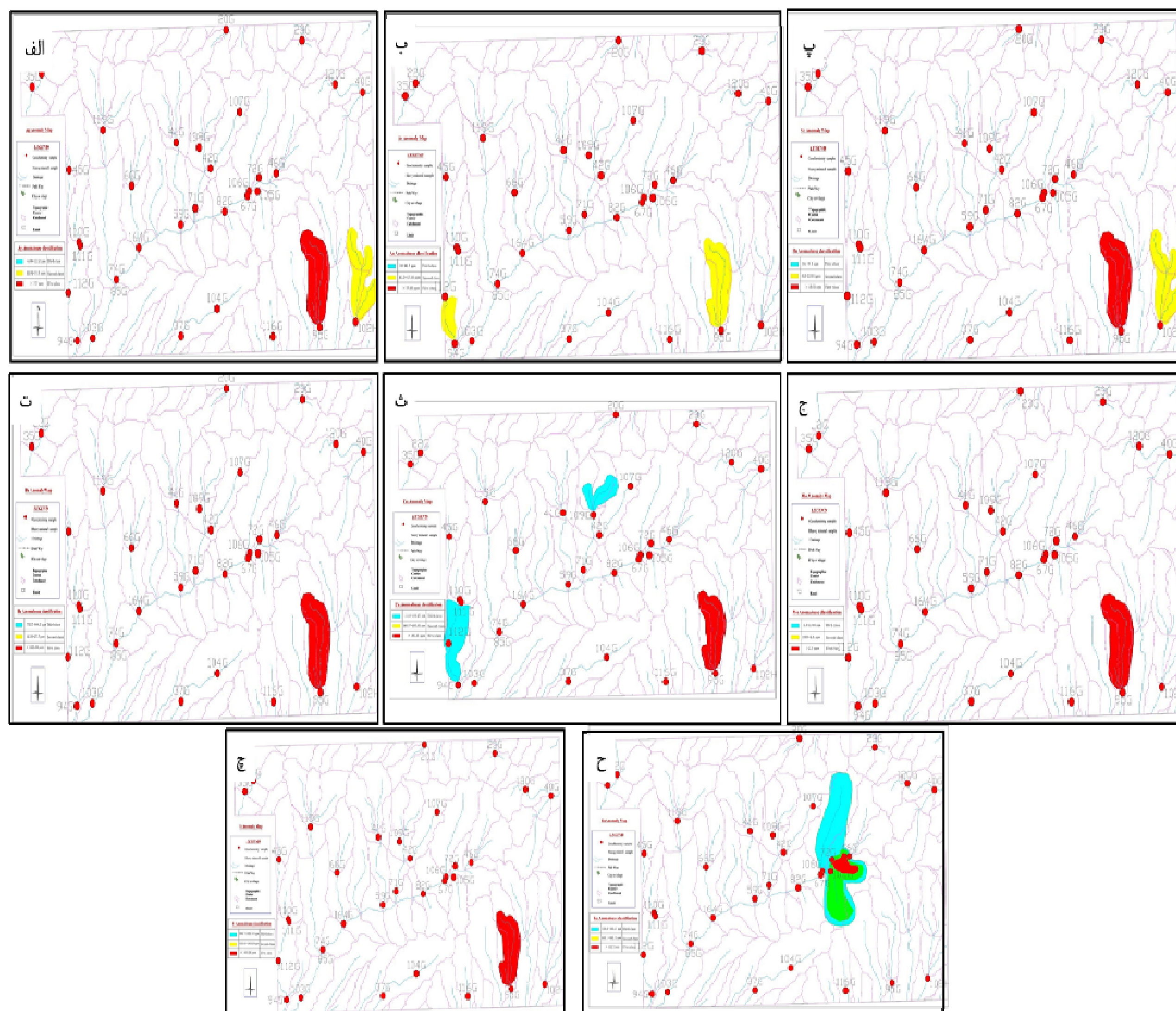
جدول ۲ نتایج تجزیه برخی از عناصر نمونه رسوب رودخانه‌ای منطقه اسبخان به روش ICP- MS (بر حسب ppm.)

نمونه	Ag	As	Ba	Be	Cd	Ce	Co	Mo	Cu	Sb	S	Zn
103G	۰٫۲۵	۱۲٫۳	۵۸۵	۱٫۳	۰٫۲	۴۳	۱۷	۱٫۲۲	۷۹	۱٫۰۷	۲۱۱	۹۵
104G	۰٫۲۷	۱۴	۵۴۵	۱٫۳	۰٫۲	۴۶	۲۰	۰٫۹۴	۷۲	۱٫۰۶	۶۰۰	۹۲
105G	۰٫۲۸	۱۴٫۷	۴۵۰	۱٫۱	۰٫۲۲	۳۵	۲۱	۰٫۸۹	۸۰	۱٫۰۵	۲۴۴	۱۶۰
106G	۰٫۲۹	۲۹	۴۵۳	۱٫۱	۰٫۲۱	۳۶	۲۱	۰٫۸۲	۸۸	۱٫۱۸	۱۶۸	۱۳۸
107G	۰٫۲۵	۴۱٫۷	۴۲۳	۱	۰٫۲	۳۵	۲۲	۰٫۷۹	۴۷	۰٫۹۶	۷۲۳	۹۲
109G	۰٫۲۵	۱۲٫۶	۵۱۸	۱٫۲	۰٫۱۹	۳۹	۲۴	۱٫۱۴	۱۰۱	۱٫۱۳	۲۷۵	۱۰۴
110G	۰٫۲۶	۲۰٫۱	۴۶۷	۱٫۱	۰٫۲	۴۰	۲۳	۰٫۹۴	۴۷	۱٫۱۱	۱۶۳	۸۸
111G	۰٫۲۹	۲۵٫۵	۳۹۱	۱	۰٫۲۲	۳۵	۱۶	۱٫۱۷	۴۶	۱٫۰۸	۱۷۴	۶۶
112G	۰٫۲۳	۱۱٫۹	۴۵۲	۰٫۹	۰٫۲	۲۹	۲۵	۰٫۹	۱۲۲	۱٫۱۴	۲۴۰	۹۷
116G	۰٫۲۹	۱۵٫۲	۷۳۵	۱٫۳	۰٫۲۱	۴۵	۱۶	۱٫۲	۷۳	۱	۳۳۴	۷۵
119G	۰٫۲۰	۲٫۵	۴۳۹	۱٫۲	۰٫۱۹	۳۹	۱۷	۰٫۹۷	۷۹	۱٫۰۹	۱۲۵	۸۷
120G	۰٫۲۴	۲٫۴	۳۰۵	۰٫۹	۰٫۲	۳۴	۲۳	۰٫۹	۵۲	۱٫۲	۱۱۱	۸۹
164G	۰٫۲۵	۹٫۲	۴۷۶	۱٫۲	۰٫۲	۳۹	۱۸	۰٫۹	۸۱	۱٫۰۱	۱۷۷	۱۰۸
20G	۰٫۲۳	۱۰٫۵	۴۵۷	۱٫۱	۰٫۱۹	۴۱	۱۴	۱٫۰۱	۷۲	۱٫۱۶	۱۵۸	۷۳
22G	۰٫۲۵	۴٫۸	۴۵۶	۱٫۱	۰٫۲	۳۶	۱۸	۰٫۸۵	۷۴	۰٫۹۸	۱۰۹	۸۷
23G	۰٫۲۶	۹٫۴	۲۹۱	۰٫۸	۰٫۲	۳۱	۲۴	۰٫۷۹	۴۵	۱٫۱۳	۸۶	۸۳
35G	۰٫۲۶	۶٫۳	۴۲۱	۱٫۱	۰٫۱۸	۳۹	۱۵	۱٫۰۷	۶۱	۱٫۰۵	۱۷۳	۷۶
37G	۰٫۲۶	۳٫۶	۴۳۴	۱٫۱	۰٫۱۹	۳۸	۱۳	۰٫۹۶	۳۱	۱٫۰۸	۱۶۰	۶۸
40G	۰٫۲۷	۴	۳۰۷	۰٫۸	۰٫۲۳	۲۹	۲۶	۰٫۸۷	۵۸	۱٫۰۴	۶۳	۹۲
41G	۰٫۲۸	۱۴	۴۶۶	۱٫۵	۰٫۱۹	۴۵	۱۶	۱٫۲	۶۵	۱٫۱۱	۱۷۵	۹۵
42G	۰٫۲۸	۱۴٫۲	۴۲۶	۱٫۱	۰٫۲۲	۳۶	۲۵	۰٫۹۴	۷۸	۱٫۱۶	۱۱۹	۱۰۹
45G	۰٫۲۳	۲٫۵	۳۷۴	۱	۰٫۲	۳۴	۲۱	۰٫۹۲	۵۰	۱٫۱۱	۱۱۷	۸۰
46G	۰٫۲۷	۱۷٫۲	۶۳۲	۱٫۴	۰٫۱۹	۴۳	۱۵	۱٫۰۳	۶۴	۱٫۱۷	۳۰۳	۱۰۴
59G	۰٫۲۵	۳۳٫۲	۶۳۴	۱٫۵	۰٫۲۱	۵۰	۱۴	۱٫۱۹	۶۶	۱٫۰۸	۱۴۷	۷۲
66G	۰٫۲۶	۱۱	۵۱۷	۱٫۷	۰٫۲	۵۳	۱۷	۱٫۰۲	۸۳	۱٫۱۱	۱۸۱	۹۷
71G	۰٫۲۳	۲۸٫۸	۵۵۱	۱٫۲	۰٫۲	۴۳	۱۸	۰٫۹۲	۶۱	۱٫۱۱	۲۰۰	۸۷
72G	۰٫۲۵	۴۰٫۳	۴۶۶	۱٫۲	۰٫۲۳	۳۱	۲۳	۰٫۸۱	۱۲۱	۱٫۲۴	۱۸۵	۲۴۲
74G	۰٫۲۶	۱۹٫۳	۵۳۹	۱٫۲	۰٫۲۲	۴۰	۱۶	۱٫۰۱	۶۸	۱٫۱۳	۲۸۸	۱۰۳
67G	۰٫۲۱	۷٫۲	۵۴۸	۱٫۲	۰٫۲	۴۲	۱۷	۱٫۰۵	۷۳	۱٫۰۶	۳۹۳	۱۰۲
82G	۰٫۲۵	۱۰٫۵	۶۶۰	۱٫۴	۰٫۱۹	۴۸	۱۷	۱۱٫۱	۷۱	۱٫۰۱	۲۰۷	۸۹
85G	۰٫۲۷	۴٫۹	۵۰۲	۱٫۲	۰٫۱۹	۴۲	۱۷	۰٫۹۸	۶۸	۱٫۰۳	۱۸۶	۱۰۸
94G	۰٫۲۱	۵۱٫۳	۷۰۶	۱٫۳	۰٫۲۲	۴۴	۱۹	۱٫۰۳	۱۱۴	۱٫۱۶	۲۶۲	۷۸
95G	۲۹٫۳	۵۳٫۳	۱۵۶۲	۱٫۱	۰٫۲۳	۳۰	۲۰	۳٫۷	۲۴۴	۱۴٫۴	۲۲۴۲	۱۱۱
102H	۱۳٫۵	۱۳٫۸	۵۳۵	۱٫۴	۰٫۲	۴۷	۱۵	۱٫۲۸	۸۸	۱۸٫۳	۴۴۲	۸۱

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]



شکل ۶ بی‌هنجاری الف) عنصر نقره، ب) عنصر آرسنیک، پ) ب عنصر آنتیموان، ت) عنصر باریم، ث) عنصر مس، ج) عنصر مولیبدن، چ) عنصر گوگرد و ح) عنصر روی.

بی‌هنجاری عنصر باریم: مقدار کمینه، بیشینه و میانگین عنصر باریم در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به ترتیب ۲۹۱، ۱۵۶۲ و ۵۲۱ppm هستند. این عنصر تنها دارای یک بی‌هنجاری درجه ۱ در جنوب‌شرق منطقه می‌باشد، که با بی‌هنجاری‌های درجه ۱ عناصر مس، نقره، مولیبدن، گوگرد و آنتیموان و بی هنجاری درجه ۲ آرسنیک هم‌پوشی دارد (شکل ۶ ت).

بی‌هنجاری عنصر مس: مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین عنصر مس در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به ترتیب ۳۱، ۲۴۴ و ppm ۷۷/۱۲ بوده و با توجه به نتایج تجزیه، پنج نمونه 95G و 112G, 72G, 94G, 109G دارای عیار تقریباً قابل توجهی نسبت به بقیه نمونه‌ها هستند (شکل ۶ ث). یک بی‌هنجاری درجه ۱ و سه بی‌هنجاری درجه ۳ در نقشه بی‌هنجاری تهیه شده برای این عنصر دیده می‌شوند که تقریباً در نیمه‌های جنوبی و مرکزی منطقه قرار دارند. بی‌هنجاری درجه ۱ مس در جنوب‌شرق منطقه واقع بوده و با بیشتر بی‌هنجاری‌های درجه ۱ عناصر دیگر چون مولیبدن، نقره و آنتیموان هم‌پوشی دارد. بی‌هنجاری درجه ۳، برآمده از دو نمونه 94G و 112G بوده که با توجه به هم‌پوشی آن با بی‌هنجاری درجه ۲ آرسنیک در این منطقه، بررسی صحرایی این ناحیه نیز مهم است (شکل ۶ ث).

بی‌هنجاری مولیبدن: مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین عنصر مولیبدن در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به ترتیب ۰/۷۹، ۳/۷ و ۱/۰۷ ppm هستند. عنصر مولیبدن، تنها یک بی‌هنجاری درجه

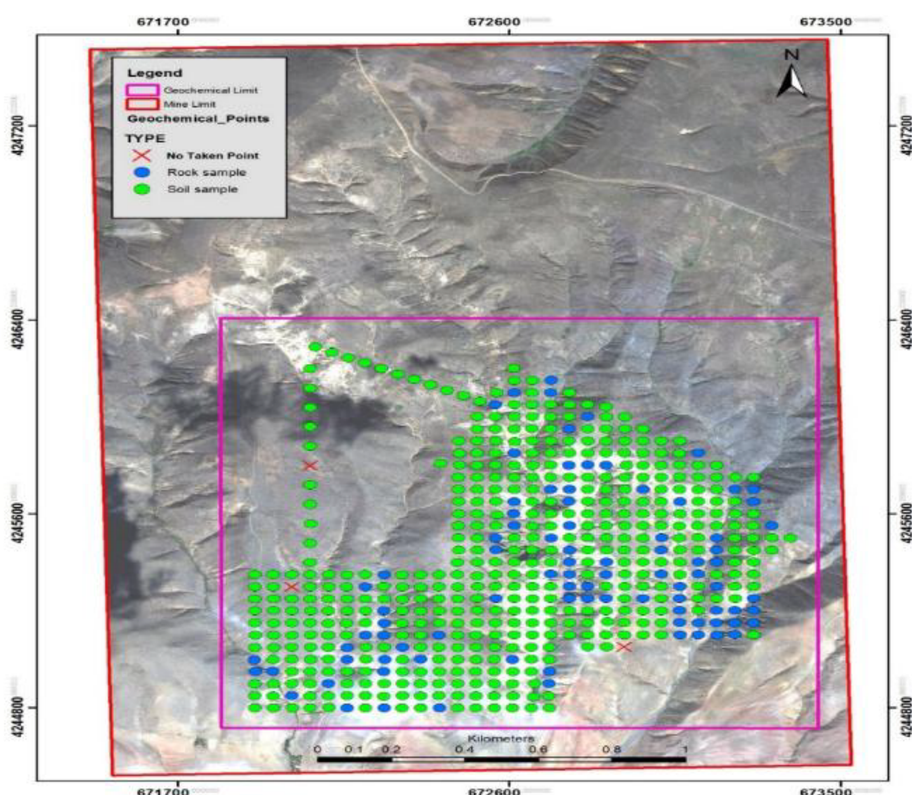
۱ در جنوب‌شرق منطقه دارد که برآمده از نمونه رسوب آبراهه-ای 95G است (شکل ۶ ج).

بی‌هنجاری عنصر گوگرد: عیار عنصر گوگرد در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای از ۶۳ تا ۲۲۴۲ با مقدار میانگین ppm ۲۸۶٫۵ است. بی‌هنجاری این عنصر از نوع درجه ۱ در جنوب‌شرق منطقه برآمده از نمونه رسوب آبراهه‌ای 95G است. یک بی‌هنجاری درجه ۳ نیز در نیمه شمالی منطقه متأثر از نمونه 107G دیده می‌شود. بی‌هنجاری درجه ۱ گوگرد چنان که پیشتر برای عناصر دیگر بیان گردید، هم‌پوشی خوبی با بیشتر عناصر مورد بررسی منطقه چون مس، نقره، آنتیموان و باریم دارد. با توجه به بالا بودن مقادیر مس دراین ناحیه، احتمال وجود کانی‌های سولفیدی مس وجود دارد (شکل ۶ چ).

بی‌هنجاری عنصر روی: مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین روی در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای به ترتیب ۶۶، ۲۴۲ و ppm ۹۷٫۸۷ هستند. عیار این عنصر در بیشتر نمونه‌ها پایین است، ولی برای بررسی بیشتر در صورت وجود هم‌پوشی نقشه بی‌هنجاری تهیه گردید. یک بی‌هنجاری درجه ۱ روی در مرکز منطقه وجود دارد. این بی‌هنجاری دارای منطقه‌بندی بوده که نشانگر اهمیت این بی‌هنجاری است (شکل ۶ ح).

زمین‌شیمیایی خاک و سنگ

برای بررسی‌های دقیق و کامل‌تر، نمونه‌برداری اصولی برپایه نمونه‌برداری از خاک در شبکه نمونه‌برداری طراحی و در دستور کار قرار گرفت. منطقه مورد بررسی با توجه به زمین ساخت فعال آن، بیشتر یک محیط پوشیده شده و یا دگرسان شده است. از این رو، تنها دسترسی ممکن در شبکه طراحی شده، خاک‌های برجا هستند و در مواردی دسترسی به رخنمون سنگی منطقه نیز وجود دارد. بر این اساس، یک شبکه اصولی نمونه‌برداری ۵۰m × ۵۰m طراحی شد که بیشتر نمونه‌های طراحی شده در محیط خاک بودند. به دلیل موقعیت و هندسه دگرسانی، رخنمون‌های امیدبخش و زمین‌شناسی ساختاری منطقه، شبکه نمونه‌برداری در یک چندگون برآمده از داده‌های به دست آمده و نقاط با فاصله طولی و عرضی ۵۰ متر شامل ۵۱۳ نمونه (۳۰۸ نقطه اولیه و ۱۹۸ نقطه تکمیلی و ۷ نقطه امیدبخش مرزی) طراحی شد. از نقاط طراحی شده، در قالب ۴۲۱ نمونه خاک و ۹۲ نمونه سنگی برداشت شدند (شکل۷).



شکل ۷ موقعیت نمونه‌های برداشت شده با تفکیک نمونه خاک و سنگ و نمونه‌های برداشت نشده به دلیل قرار گرفتن در زمین زراعی.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]

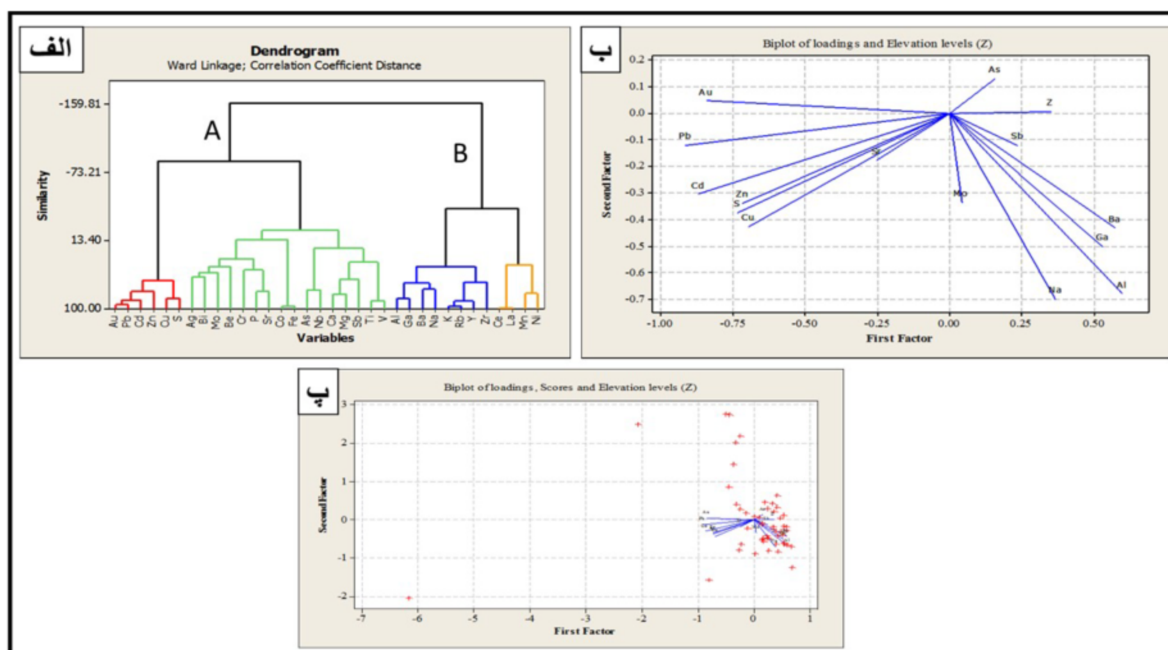
تجزیه خوشه‌ای

در این روش، هدف اصلی دست‌یابی به ملاکی برای رده‌بندی مناسب متغیرها برپایه تشابه هر چه بیشتر درون‌گروهی و اختلاف هر چه بیشتر میان‌گروهی است [۲۱]. برای ادغام گروه‌ها و به دست آوردن بهترین نمودار خوشه‌ای از روش اتصال میانگین استفاده شد [۲۷]. در پایان بهترین نمودار خوشه‌ای از این روش به دست آمد (شکل ۸ الف). براساس این نمودار و با توجه به نتایج پیشین (عناصر همبرزاد طلا)، عناصر مختلف به طور کلی در دو رده اصلی B و A دسته بندی شدند. در رده A، عناصر Au، Pb، Cd، Zn، Cu، S، Ag، Bi، Mo، Be، Cr، P، Sr، Co، Fe، As، Nb، Ca، Mg، Sb، Ti و V قرار دارند (شکل ۸ الف) که می‌توان ۲ زیررده به صورت Au، Pb، Cd، Zn و Cu، S برای آن در نظر گرفت. عناصر یاد شده در یک گروه و شاخه مجزا و دارای بیشترین وابستگی جای دارند (شکل ۸ الف).

در مجموع، تعداد ۵۱ نمونه زمین‌شیمیایی در یک فاز، در داده‌های منطقه وجود داشت که اهمیت بالای عناصر Ba، Na، As، Ga، Al، Mo، Sb، Sr، Zn، Pb، Cd، Au، S و Cu با دو جهت‌گیری مختلف قابل تامل است. از بررسی این عناصر به همراه تراز ارتفاعی مشخص شد که تراز ارتفاعی به عنوان یک عامل مهم، همراهی نزدیکتر با As و Sb و روند عکس با Au و Pb دارد (شکل ۸ ب). در نتیجه، نمونه‌هایی که از مسیر آبراهه‌ها با کمترین تراز ارتفاعی برداشت شده‌اند، آثاری از کانی‌زایی و ترازهای ارتفاعی بالاتر، عناصر فوق کانساری As و Sb را نشان می‌دهند. از این رو، احتمال وجود کانی‌زایی در عمق بسیار بیشتر است. با توجه به شکل ۸ پ می توان گفت که بیشتر نمونه‌های برداشت شده معرف محیط رو کانساری در منطقه هستند.

بررسی‌های آماری چندمتغیره

اساس روش آماری چند متغیره رده‌بندی داده‌ها بر اساس ویژگی‌های زمین‌شیمیایی است. در داده‌های خام، رفتار زمین‌شیمیایی روشنی دیده نمی‌شود. بررسی‌ها با روش‌های آماری چند متغیره و داده‌های بهنجار شده تکمیل می‌گردد تا شاید بتوان در مقادیر پایین، تغییرات جزئی را مشاهده کرد. داده‌های بهنجار شده در ۷ گروه زمین‌شیمیایی مجزا رده بندی شدند که این جوامع زمین‌شیمیایی به ترتیب شامل ۷۰، ۶۹، ۷۳، ۹۶، ۵۰، ۶۱ و ۹۴ نمونه هستند (جدول ۳). هر گروه زمین‌شیمیایی تغییرپذیری تعدادی از عناصر را برجسته می‌نماید. براساس جدول ۴، گروه‌های پنجم و هفتم مهم‌ترین نمونه‌ها برای Zn، Pb، Mo، Cu و Au و همچنین جوامع هفتم و دوم مهم ترین برای Mo بوده‌اند (جدول ۴).



شکل ۸ الف) نمودار درختی عناصر بر اساس تشابه برای مجموعه ۵۱ نمونه، ب) تغییرات عنصری محدود در حضور تراز ارتفاعی Z برای مجموعه ۵۱ نمونه، پ) تغییرات عنصری محدود و مجموع نمونه‌ها در حضور تراز ارتفاعی Z برای مجموعه ۵۱ نمونه.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]

جدول ۳ تعداد نمونه‌های جوامع زمین‌شیمیایی مختلف منطقه اسبخان.

گروه ۱	۷۰	گروه ۵	۵۰
گروه ۲	۶۹	گروه ۶	۶۱
گروه ۳	۷۳	گروه ۷	۹۴
گروه ۴	۹۶		

جدول ۴ نتایج تحلیل روندهای زمین‌شیمیایی غالب در منطقه اسبخان.

متغیر	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶	گروه ۷
NAu	۰٫۴۹	۰٫۵	۰٫۴۶	۰٫۵۰	۰٫۶۰	۰٫۴۴	۰٫۵۹
Nag	۰٫۴۷	۰٫۴۷	۰٫۴۱	۰٫۶۳	۰٫۴۹	۰٫۵۲	۰٫۴۹
NAs	۰٫۵۵	۰٫۵۵	۰٫۴۸	۰٫۴۳	۰٫۵۱	۰٫۴۰	۰٫۵۸
NBa	۰٫۶۰	۰٫۶۱	۰٫۴۱	۰٫۵۰	۰٫۴۰	۰٫۵۲	۰٫۴۵
NBe	۰٫۴۷	۰٫۵۶	۰٫۴۸	۰٫۵۹	۰٫۲۶	۰٫۴۶	۰٫۵۶
NBi	۰٫۶۳	۰٫۵۵	۰٫۴۳	۰٫۴۹	۰٫۵۱	۰٫۴۵	۰٫۴۶
NCa	۰٫۳۲	۰٫۳۹	۰٫۶۶	۰٫۴۶	۰٫۶۲	۰٫۵۳	۰٫۵۳
NCd	۰٫۳۹	۰٫۴۱	۰٫۳۷	۰٫۶۳	۰٫۵۷	۰٫۵۹	۰٫۵۳
NCo	۰٫۲۷	۰٫۳۹	۰٫۵۳	۰٫۵۸	۰٫۵۴	۰٫۴۹	۰٫۶۵
NCr	۰٫۳۸	۰٫۴۶	۰٫۴۷	۰٫۵۴	۰٫۴۴	۰٫۵۴	۰٫۶۲
NCs	۰٫۴۷	۰٫۴۹	۰٫۵۲	۰٫۵۸	۰٫۳۹	۰٫۴۴	۰٫۵۴
NCu	۰٫۳۷	۰٫۴۲	۰٫۵۲	۰٫۴۸	۰٫۶۱	۰٫۴۵	۰٫۶۵
Nin	۰٫۵۳	۰٫۵۶	۰٫۴۴	۰٫۵۸	۰٫۲۱	۰٫۵۶	۰٫۵۲
NLi	۰٫۲۹	۰٫۴۰	۰٫۵۸	۰٫۶۱	۰٫۴۷	۰٫۵۱	۰٫۵۸
NMn	۰٫۲۷	۰٫۳۸	۰٫۵۱	۰٫۵۹	۰٫۵۴	۰٫۴۷	۰٫۶۴
NMo	۰٫۵۷	۰٫۶۳	۰٫۵۲	۰٫۴۱	۰٫۳۰	۰٫۳۴	۰٫۶۵
NNb	۰٫۴۲	۰٫۴۹	۰٫۴۶	۰٫۴۶	۰٫۶۶	۰٫۴۴	۰٫۶۰
NNi	۰٫۴۰	۰٫۵۰	۰٫۵۴	۰٫۴۸	۰٫۵۰	۰٫۳۶	۰٫۶۶
NPb	۰٫۵۵	۰٫۵۲	۰٫۳۸	۰٫۴۹	۰٫۵۷	۰٫۳۹	۰٫۶۰
NS	۰٫۶۸	۰٫۶۱	۰٫۴۳	۰٫۴۴	۰٫۵۱	۰٫۴۳	۰٫۴۳
NSb	۰٫۵۶	۰٫۴۸	۰٫۴۸	۰٫۵۶	۰٫۳۲	۰٫۴۹	۰٫۵۳
NSe	۰٫۶۲	۰٫۶۲	۰٫۵۰	۰٫۴۳	۰٫۳۵	۰٫۳۸	۰٫۵۶
NSn	۰٫۴۶	۰٫۶۰	۰٫۴۵	۰٫۴۵	۰٫۶۳	۰٫۳۶	۰٫۵۶
NSr	۰٫۴۹	۰٫۵۸	۰٫۵۴	۰٫۴۱	۰٫۵۰	۰٫۵۳	۰٫۵۰
NTa	۰٫۴۳	۰٫۴۲	۰٫۴۲	۰٫۶۴	۰٫۵۵	۰٫۵۹	۰٫۴۷
NTe	۰٫۶۴	۰٫۵۹	۰٫۳۹	۰٫۴۸	۰٫۵۳	۰٫۴۴	۰٫۴۷
NTh	۰٫۵۰	۰٫۶۲	۰٫۴۱	۰٫۶۱	۰٫۳۲	۰٫۳۷	۰٫۵۵
NTl	۰٫۶۰	۰٫۵۱	۰٫۴۶	۰٫۵۵	۰٫۳۵	۰٫۴۳	۰٫۵۴
NU	۰٫۵۵	۰٫۵۸	۰٫۴۷	۰٫۵۵	۰٫۳۴	۰٫۴۳	۰٫۵۱
NV	۰٫۴۲	۰٫۴۳	۰٫۵۸	۰٫۵۲	۰٫۴۲	۰٫۵۲	۰٫۵۷
NW	۰٫۵۵	۰٫۵۱	۰٫۴۴	۰٫۶۱	۰٫۳۸	۰٫۵۸	۰٫۴۲
NZn	۰٫۲۸	۰٫۴۳	۰٫۴۷	۰٫۵۹	۰٫۵۵	۰٫۴۶	۰٫۶۵
NY	۰٫۳۳	۰٫۵۱	۰٫۴۷	۰٫۵۸	۰٫۴۴	۰٫۳۸	۰٫۶۳
NLREE	۰٫۴۱	۰٫۶۸	۰٫۴۰	۰٫۵۷	۰٫۴۴	۰٫۳۳	۰٫۶۰
NHREE	۰٫۳۸	۰٫۶۳	۰٫۵۶	۰٫۴۲	۰٫۴۹	۰٫۳۲	۰٫۶۶
NLa	۰٫۴۳	۰٫۶۷	۰٫۳۷	۰٫۵۹	۰٫۴۶	۰٫۳۵	۰٫۵۶
NLu	۰٫۴۳	۰٫۶۱	۰٫۵۷	۰٫۳۶	۰٫۵۳	۰٫۳۱	۰٫۶۶
NYb	۰٫۳۶	۰٫۵۵	۰٫۵۴	۰٫۴۵	۰٫۵۳	۰٫۳۶	۰٫۶۳

گروه‌های زمین‌شیمیایی ۱ و ۲ بیشتر Ba، S و تا حدی Mo را در خود دارند که این موقعیت‌ها به درستی با منطقه دگرسان شده همخوانی دارد (شکل ۹ الف). گروه زمین‌شیمیایی ۴، عناصر Be، Li، In، Ta، W، Cd و Ag را نشان می‌دهد. این عناصر اغلب در نزدیک توده کانساری تغییرات دارند (شکل ۹ ب). در گروه زمین‌شیمیایی ۵، عناصر Sn، Nb، Pb، Cu و Au ارجحیت دارند. در گروه زمین‌شیمیایی ۷، عناصر خاکی نادر (REE)، Zn، Pb، Mo، Mn، Cu، Cr، Co، As و Au ارجحیت دارند. گروه‌های ۵ و ۷ مستعد شرایط پورفیری هستند. گروه ۴ نیز در بر دارنده عناصر w، Ta، Li، In، Cd، Be و Ag است (شکل ۹ ب). گروه‌های ۳ و ۶ گویای شرایط کانساری نبودند.

[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]

چند متغیره درجه‌های بالا

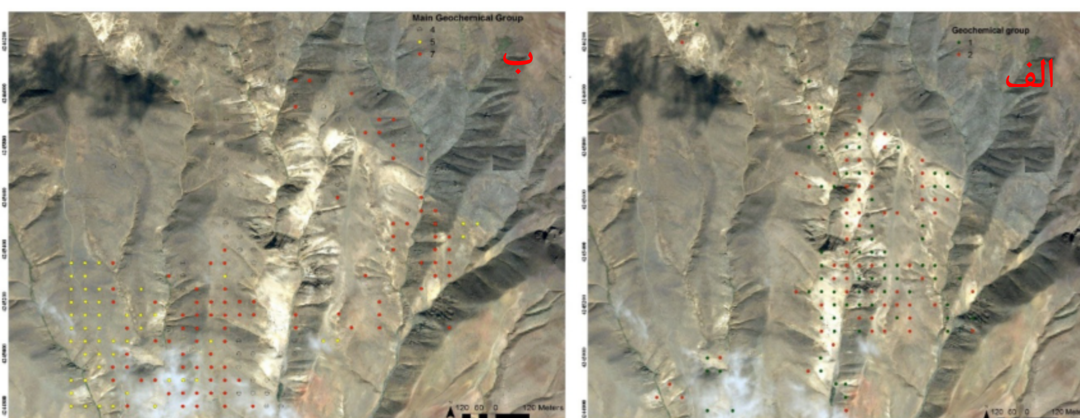
با هدف شناسایی روند کانی‌زایی، درجه‌های بالای مشتق‌های عنصری با روش آکیما برای Cu و Mo به ترتیب در شکل‌های ۱۰ الف و ۱۰ ب نشان داده شده‌اند. دیده می‌شود که مس بیشتر در جنوب‌غربی منطقه و مولیبدن بیشتر در بخش‌های شرقی خود را نشان می دهند. این امر ممکن است با پایین‌تر بودن تراز ارتفاعی بخش غربی (شکل ۱۰ پ) و یا تا حدی مایل و یا شیبدار بودن توده به سمت غرب در ارتباط باشد.

بررسی چند متغیره عاملی

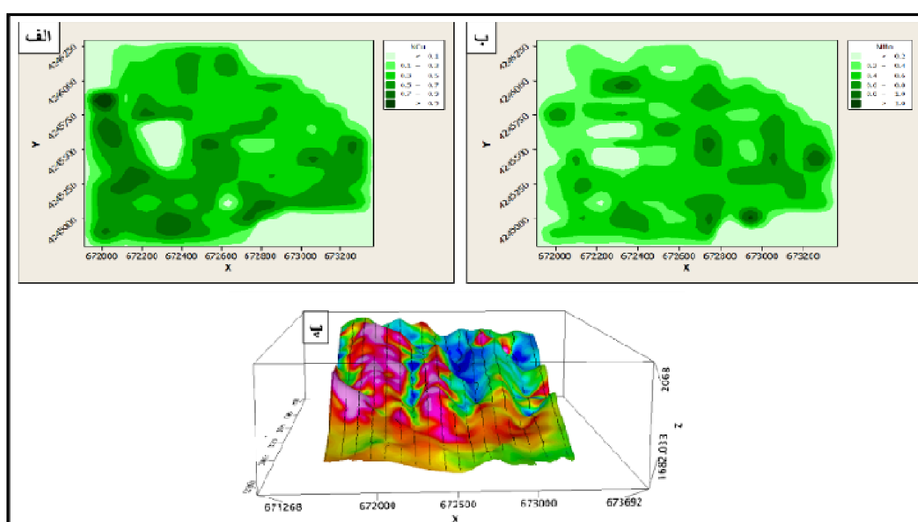
شواهد زمینی دیگری که تکامل کننده کل بررسی‌ها و برآمده از چند روش بحث شده در متن است در شکل۱۱ نشان داده شده است (رده‌بندی گروه‌های زمین‌شیمیایی با روش K- میانگین و نتایج تحلیل‌های چند متغیره عامل محتمل کانی سازی با خطوط پربندی).

اولویت ۱- گستره‌های سبزرنگ که از نظر Zn، Cd، Mn، Co و Cu غنی هستند و با گروه زمین‌شیمیایی ۷ (نشان داده شده با دایره مشکی) بخوبی برازش می‌شود.

اولویت ۲- منطقه تهی شده در عامل S1- چرخیده عناصر Ba، S و Mo بالاتری دارد (شکل ۱۱). پس به احتمال بسیار این موقعیت یک توده Mo دار در نظر گرفته می‌شود. نماد چهار نیز (نشان داده شده با مربع قرمز) از عناصرBe ، Li، In، Ta، Cd و Ag که لبه کانساری هستند، غنی است. این احتمال وجود دارد که در این قسمت، حضور Mo ارجحیت بیشتری داشته باشد.

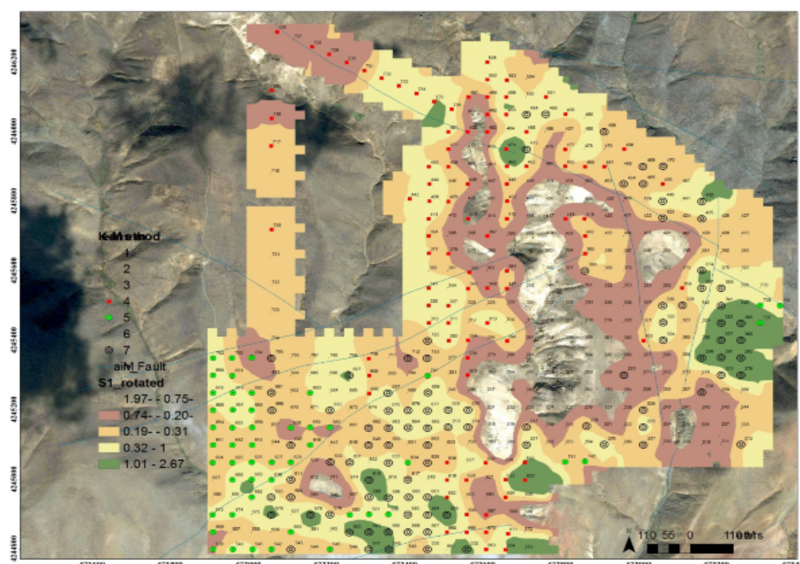


شکل ۹ الف) گروه زمین‌شیمیایی ۱ و ۲ که بیشتر Ba، S و تا حدی Mo را در خود دارد ب) گستره اثر مجموعه عناصر گروه‌های زمین‌شیمیایی ۴، ۵ و ۷ در منطقه.



شکل ۱۰ الف) درجه‌های بالای مشتق‌های عنصری با روش آکیما برای مس الف) و ب) مولیبدن. پ) نقشه میدان مغناطیسی منطقه مورد بررسی پس از برگردان به قطب (RTP) بر مکان‌نگاری منطقه.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]



شکل ۱۱ ترکیب نتایج تحلیل عاملی و k- میانگین با هدف زمین شناسی منطقه.

برداشت

اصلی‌ترین واحدهای سنگ شناسی در منطقه اسبخان توده‌های آذرین درونی کوارتز دیوریت، کوارتزمونزونیت پورفیری و دیوریت الیگوسن هستند که به درون تشکیلات آندزیتی، تراکی‌آندزیتی، بازالتی، توفی و ایگنمبریتی ائوسن نفوذ کرده و این امر سبب گسترش یک سامانه دگرسانی شده است. بررسی‌های زمین‌شیمیایی و زمین‌آماری بیشتر روی یافته‌های رسوب‌های رودخانه‌ای و کانی‌های سنگین در منطقه انجام شد که بدون شک بیشتر بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی ثبت شده در این منطقه امیدبخش، ناشی از حضور دگرسانی‌های گسترده در اثر نفوذ توده الیگوسن به ائوسن بوده است. نقشه‌های بی‌هنجاری و تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری انجام شده بر یافته‌ها در رسوب‌های رودخانه‌ای و کانی‌های سنگین نشان داد که غنی شدگی عناصر Ag، Mo، Cu، As، Pb، Sb و Zn از حد زمینه بالاترست که می‌توانند به عنوان ردیاب برای پی جویی ذخایر رگه‌ای طلا به کار روند. این منطقه دارای بخش‌های پتانسیل‌داری است که با استفاده از روش‌های تحلیل چند متغیره شناسایی شده و نقشه بی‌هنجاری عناصر با این روش‌ها رسم شدند. انطباق نقشه هاله‌های زمین‌شیمیایی با نقشه زمین‌ساخت و دگرسانی منطقه نشان دهنده همبستگی بسیار بالای این مناطق و به احتمال بسیار نقش مهم گسل‌ها و درزه‌ها در رخداد پهنه‌های دگرسانی و مناطق بی‌هنجار است. در بررسی‌های چند متغیره، دو دسته داده به نام گروهای ۵ و ۷ به ترتیب با ۵۰ و ۹۴ نمونه مهم ترین داده‌ها در منطقه برای شناسایی توده‌های ممکن در منطقه بوده‌اند. در گروه زمین‌شیمیایی ۵، عناصر Sn، Pb، Cu و Au و در گروه زمین‌شیمیایی ۷ عناصر REE، Zn، Pb، Mo، Mn، Cu، Cr، Co، As و Au ارجحیت دارند. نتایج تحلیل عاملی چرخش یافته، ضریب تغییرات را برجسته‌تر می‌نماید و نشان می‌دهد که تغییرات عمده منطقه مربوط به عناصر Zn، Cd، Mn، Co و Cu است. نکته گفتنی دیگر تغییرات Cu و Mo در منطقه به دلیل شیب توده به سمت شمال شرق منطقه است و این موضوع در تغییر پذیری سطحی عناصر و همچنین مشتق‌های درجه‌های بالاتر منطقه دیده می‌شود. مشتقات درجات بالای زمین‌شیمیایی برای عناصر و همچنین پراکندگی زمین‌شیمیایی نشان دهنده اهمیت پهنه زمین‌شیمیایی جنوب غربی منطقه در پی‌جویی سامانه‌های کانی‌زایی است. عیار و توزیع زمین‌شیمیایی مس بیشتر جنوب‌غرب و برای عنصر مولیبدن بیشتر مرکز و جنوب‌شرق را نشان می‌دهد. نتایج قابل توجه بدست آمده از بررسی کانی‌های سنگین، همخوانی بسیار خوب بین بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی را نشان می‌دهد، بطوری که بیشتر نمونه‌های کانی سنگین دربردارنده کانه‌های قابل توجه، مربوط به گستره‌های دارای بی‌هنجاری زمین‌شیمیایی آبراهه‌ای بوده‌اند.

مراجع

[1] Innocenti F., Mazzuoli R., Pasquare G., Radicati di Brozolo F., Villari L., *"Tertiary and quaternary volcanism of the Erzurumkars area (Eastern Turkey): geochronological data and geodynamic evolution"*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 13 (1982) 223-240.

[2] Hezarkhani A., *"Petrology of the intrusive rocks within the Sungun porphyry copper deposit, Azerbaijan, Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences, 27(3) (2006) 326-340.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.2.6.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.2.267]

characteristics of Zaglic and Safikhanloo epithermal gold prospects, NW Iran. Geological", Society, London, Special Publications 350(1) (2011) 133-147.

[15] Alirezaei S., Ebrahimi S., Pan Y., *"Fluid Inclusion Characteristics of Epithermal Precious Metal Deposits in the Arasbaran Metallogenic Zone, Northwestern Iran*", [extended abs.], ACROFI-II, India (2008) 1–4.

[16] Hosseinzadeh MR., *"Geological, geochemical, fluids involved, mineralization, alteration and genesis of Sonajil porphyry copper deposit - East Harris*", PhD thesis, University of Tabriz (2008) 214 p.

[17] Moshaghi P. N., *"A study entitled Studies on the genesis of arsenic reserves in Valilo area Master's thesis forma*", (2001).

[18] Bees A. A., Gregorian S. V., *"Geochemical exploration method for mineral deposits. Translated by R.T. Schneider Ed. by A. A Levinson*", Lilia's Applied Publishing, 924p (1977).

[19] Germane Milo Jr., Fletcher W. K., *"Dispersion of gold and associated elements in stream sediments under semi arid conditions, northeast Brazil",* Journal of Geochemical Exploration (1999).

[20] Hale M., Plant J. A., *"Handbook of Exploration Geochemistry*", Vol. 6, Elsevier science B.V, Amsterdam (1994).

[21] Hassani Pak A., Sharafuddin M., *"Analysis of exploratory findings, Tehran, Institute of Printing and Publishing*", University of Tehran (2001) 987p.

[22] Nude P. M., Arhin E., *"Overbank sediments as appropriate geochemical sample media in regional stream sediment surveys for gold exploration in the savannah regions of northern Ghana*", Journal of Geochemical Exploration, v. 103(1) (2009) p. 50–56.

[23] Nabavi M. H., *"An Introduction to the Geology of Iran",* Geological Survey of Iran Publication (1976) 1-105.

[24] Aghanabati A., *"Geology of Iran, Ministry of industry and mines, Geological survey of Iran*", Tehran, Iran, 582 pp. (2004) (in Persian).

[25] Faridi M., Zamani Mehr S., *"Geological map of Khoja with a scale of 1: 100000*", Geological Survey and Mineral Exploration (2004).

[26] Lesquyer L., Rio R., Babakhani A. R., *"Description of Ahar rectangular geological map, 1: 250,000*", Geological Survey of Iran (1990).

[27] Swan A. R. H., Sandilands M., Meccabe P., *"Introduction to geological data analysis, Blackwell Science*", Cambridge, 446p (1995).

[3] Dilek Y., Imamverdiyev N., Altunkaynak S., *"Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint",* International Geology Review, 52(4-6) (2010), 536-578.

[4] Dercourt J.E, Zonenshain L.P., Ricou L.E., Kazmin V. G., Le Pichon X., Knipper A.L., Grandjacquet C., Sbortshikov I.M., Geyssant J., Lepvrier C., Pechersky D.H., *"Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias*", Tectonophysics, 123(1-4): (1986) 241-315.

[5] Alavi M., *"Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran*", American Journal of science, 307(9), (2007) 1064-1095.

[6] Jamali H., Dilek Y., Daliran F., Yaghubpur A., Mehrabi B., *"Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar–Arasbaran volcanic belt, northern Iran*", International Geology Review, 52(4-6) (2010) 608-630.

[7] Ghorbani M., *"A summary of geology of Iran, In The Economic Geology of Iran, Springer*", Dordrecht (2013) 45-64.

[8] Jamali H., Mehrabi B., *"Relationships between arc maturity and Cu–MO–Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt*", Ore Geology Review 31 (2015) 123–138.

[9] Simmonds V., Calagari A. A., Kyser K., *"Fluid inclusion and stable isotope studies of the Kighal porphyry Cu–Mo prospect, East- Azarbaidjan, NW Iran",* Arabian Journal of Geosciences 8 (2015) 473-453.

[10] Simmonds V., Moazzen M., *"Re-Os dating of molybdenites from Oligocene Cu-Mo-Au mineralized veins in the Qarachilar area, Qaradagh batholith (northwest Iran): Implications for understanding Cenozoic mineralization in South Armenia, Nakhchivan, and Iran"*, International Geology Review 57 (2015) 290-304.

[11] Calagari A. A., *"Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azarbaidjan, Iran*", Journal of Asian Earth Science 23 (2004) 179–189.

[12] Mohamadi M., Borna B., *"Report of Geology and Drilling in the Masjed Daghi Area (National Iranian Copper Industries Company (NICICO))*.

[13] Zarnab Company, *"Geology and Alteration Studies of the Haftcheshmeh Area (National Iranian Copper Industries Company (NICICO))* (2007).

[14] Ebrahimi S., Alirezaei S., Pan Y., *"Geological setting, alteration, and fluid inclusion*